

**OBJECT FOR STORING OPTICAL DATA AND RECORDER FOR IT
AND DEVICE FOR RECORDING AND REPRODUCING IT**

Patent Number: JP6028672
Publication date: 1994-02-04
Inventor(s): KAWADA SATOSHI; others: 01
Applicant(s):: SENRI OYO KEISOKU KENKYUSHO:KK
Requested Patent: ☐ JP6028672
Application Number: JP19920153311 19920612
Priority Number(s):
IPC Classification: G11B7/00 ; G11B7/09 ; G11B7/135
EC Classification:
Equivalents:

Abstract

PURPOSE:To record data with a high density and with a large capacity by recording the data in a thick recording material three-dimensionally one point by one point and reading it using a confocal optical system.

CONSTITUTION:At a writing time, a laser beam is converged on the recording material using a LiNbO3 crystal with a large refractive index through an objective lens, and by a photorefractive effect, a change in the refractive index is generated only in the vicinity of the converged point of the laser in proportion to the differential value of the distribution of light intensity, and the data is recorded in the crystal. At this time, the data is recorded one point by one point while performing three-dimensional scan by moving the recording material in triaxial directions. At a reading time, the laser with a wavelength occurring no photorefractive effect of the LiNbO3 crystal or the laser beam with weak intensity is converged on a part generating the change of the refractive index in the recording material 5 through the objective lens 3, and the reflected beam is detected by a point detector 7 arranged on the focal position of the lens 3, and the point data is read. Thus, the data with large capacity is recorded and write/read of the data is performed.

Data supplied from the esp@cenet database - 12

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-28672

(43)公開日 平成6年(1994)2月4日

(51)Int.Cl.⁵

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

G 1 1 B 7/00

K 9195-5D

7/09

B 2106-5D

7/135

Z 8947-5D

審査請求 未請求 請求項の数 2(全 11 頁)

(21)出願番号

特願平4-153311

(22)出願日

平成4年(1992)6月12日

(71)出願人 591158069

有限会社千里応用計測研究所

大阪府大阪市北区中津6丁目8番35号

(72)発明者 河田 聡

大阪府箕面市箕面4丁目1番18号

(72)発明者 川田 善正

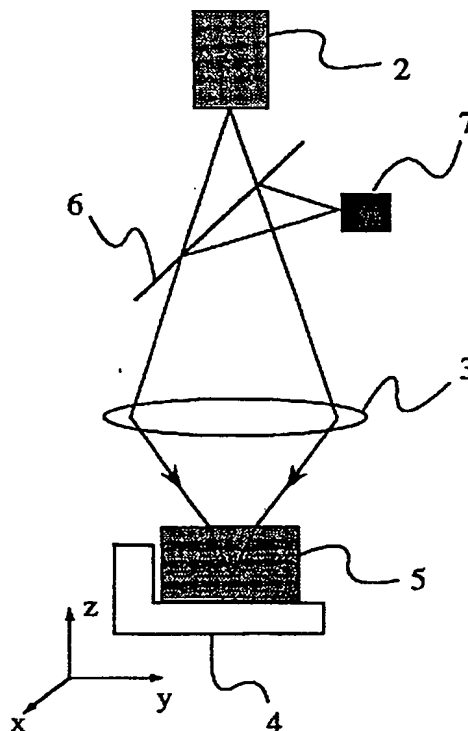
神戸市灘区八幡町3丁目6番15号

(54)【発明の名称】 光学的データ記憶体並びにこの記録装置及び記録再生装置

(57)【要約】

【目的】 大容量を持つ光学的記憶方法および記憶装置を提供することを目的とする。

【構成】 感光材料に対物レンズを用いてレーザーを集光し、3次的に一点一点データを屈折率変化として書き込み、その3次的に記録されたデータを反射型の共焦点光学系を用いて読みだすことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 データの書き込みと読み出しを、記録材料の面内および深さ方向の3次元方向に行なう光学的記憶装置において、

入射光強度によって屈折率変化を生じる記録材料と、前記記録材料内の微小領域にレーザービームを集光する、少なくとも1個の対物レンズを備えた光学系と、前記記録材料内の屈折率変化領域を検出する、少なくとも点光源と点検出器またはピンホールと検出器と対物レンズとを備えた共焦点光学系と、前記記録材料の3軸方向の走査手段とを持つ事の特徴とする光学的記憶方法及び記憶装置。

【請求項2】 前記のレーザービームを集光する光学系または共焦点光学系は、光学的ビーム走査手段を備え、前記走査手段は、少なくとも深さ方向に走査する手段である、請求項1に記載の光学的記憶方法及び記憶装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、データを光学的に書き込みおよび読み出しのできる記憶方法及び記憶装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術、およびその問題点】 近年のコンピュータの高機能化や情報の多次元化に伴い、大容量のメモリーが必要となってきた。この需要に応えるため、大きな容量をもつメモリーの開発が進められている。コンパクトディスク、光磁気ディスクなどの光学的記憶装置で、大容量のメモリーが実現されているが、これらの光学的記憶装置ではこれ以上の記録容量を大きくすることは困難である。つまり、データの書き込みと読み出しに光を使うかぎり、単位面積あたりの記録密度は使用する波長の回折限界で決まるスポット径で制限される。したがって、より大きな容量の光学的記憶装置を実現するには、記録媒体（ディスク）の面積を大きくしなければならないからである。

【0003】 光学的記憶装置の記録媒体（ディスク）の面積を大きくすることなく、より大きな記録容量を実現するには、データを2次元平面内だけでなく、奥行き方向（光軸方向）にも記録し、3次元構造を持つ光学的記憶装置を実現すればよい。

【0004】 3次元光学的記憶装置としてホログラフ技術を用いたものが、いくつか提案されている(L. d'Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz: Appl. Opt. Vol. 13, 808-818, 1974; P. J. van Heerden: Appl. Opt. Vol. 2, 393-400, 1963; Di Chen and J. D. Zook: Proc. IEEE Vol. 63, 1207-1230, 1975)。これらの方法は、2次元データ（画像）を厚みのある感光材料に、ホログラムとして記録するものである。多数枚の2次元データを参照光の照明方向を変えて、同一ホログラム材料に多重記録する。

【0005】 ホログラフ技術を用いてデータを記録する方法では、以下のような問題点がある。多重記録した複数の2次元データのうち、クロストークなしで1枚ずつ2次元データを読み出すためには、多重記録する際に参照光の照明方向を大きく変化させて記録しなければならない(L. d'Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz: Appl. Opt. Vol. 13, 808-818, 1974)。そのため、多重記録の多重度を高くすることはできず、記録容量を大きくすることはできない。また、ホログラフ技術の記録と再生には、コヒーレント光源が必要である。そのためホログラムからの再生像には、光学部品に付着したほこりなどに起因するスペックル像およびリング状の干渉縞などのコヒーレント雑音を重ねる。これらコヒーレント雑音は、再生データ像のSN比を低下させ、データ読み出しの信頼性を著しく低下させる。

【0006】 記録媒体に一点ずつデータを書き込む3次元光学的記憶装置もいくつか提案されている(D. A. Parthenopoulos and P. M. Rentzepis: Science Vol. 245, 843-844, 1989; S. Hunteer, F. Kiamilev, S. Esener, D. A. Parthenopoulos, and P. M. Rentzepis: Appl. Opt. Vol. 29, 2058-2066, 1990; J. H. Strickler and W. W. Webb: Opt. Lett. Vol. 16, 1780-1782, 1991)。

【0007】 これらは、二光子吸収が光強度の2乗に比例して生じることを利用して、フォトポリマー中にデータを書き込むものである。まず、フォトポリマーにレーザー光を集光する。二光子吸収は光強度の2乗に比例して生じるので、レーザー光強度の大きな焦点付近でのみ二光子吸収が生じ、ポリマーの結合状態が変化する。よって、レーザーの集光点付近のみでポリマーの構造が変化し、その点で屈折率が変化する。ポリマーを3次元的に走査して、データを3次元的に一点ずつ記録する。データの読み出しには、微分干渉顕微鏡を用いている。各点での屈折率変化を検出し、データを読み出す。

【0008】 二光子吸収を用いた光学的記憶装置では、データの書き込み時に高出力のパルスレーザーが必要である。またデータの読み出しには干渉顕微鏡を用いているため、光軸方向（奥行き方向）のデータの読み出し分解能は顕微鏡の焦点深度によって決まる。通常の顕微鏡の焦点深度は大きく、光軸方向のデータの読み出し分解能は低い。また、焦点位置にある屈折率変化のデータに焦点位置から外れた位置に存在する屈折率変化のぼけた像が重なるので、データの読み出し精度は低下する。したがって、光軸方向の記録密度を上げることは困難であり、容量を大きくすることも困難である。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】 本発明は、高記録密度、大容量の3次元構造を持つ光学的記録装置または記憶方法を実現することを課題とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明は、データの書き込みと読み出しを、記録材料の面内および深さ方向の3次元方向に行なう3次元構造を持つ光学記録装置において、入射光強度によって屈折率変化を生じる記録材料と、記録材料内の微小領域にレーザービームを集光する光学系と、記録材料内の屈折率変化領域を検出する共焦点光学系と、記録材料内の3次元走査を行なう手段を持つ事の特徴とする。

【0011】

【作用】本発明では、厚みのある記録材料に3次元的にデータを一点一点記録し、それらのデータを共焦点光学系を用いて読みだす。

【0012】データの記録材料には、フォトリフラクティブ結晶、フォトポリマー、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなど、光強度に応じて屈折率が変化する感光材料を用いる。このような記録材料中にレーザー光を集光すると、集光位置で屈折率が大きく変化する。集光点以外の部分では、集光位置に比べ光強度が小さいので、屈折率変化は小さく、無視できる。レーザービームを走査するかまたは記録材料を3次元的に走査して、一点一点記録材料中にデータを3次元的に記録する。

【0013】本発明の光学的記憶方法では、例えば500nmのレーザー光を用いてデータの書き込みを行ない、屈折率変化が集光スポットの周辺1mm3の範囲で生じたとすると、1x1012 bit/cm3の記録密度が得られる。より短い波長のレーザー光を用いることや高い開口数の対物レンズを使用すること、レーザー光強度に対して非線形に感光する記録材料を用いて屈折率変化が生じる領域を小さくすることなどにより、さらに高い記録密度が得られる。

【0014】記録材料としてLiNbO3、BaTiO3、SBN、Bi12SiO20などの書き換え可能なフォトリフラクティブ結晶を用いた場合には、ランダムアクセスメモリ(RAM)およびリードオンリーメモリ(ROM)としての作用を持たせることができる。フォトポリマー、重クロム酸ゼラチンなど、書き換えができない材料を記録材料に用いた場合には、リードオンリーメモリ(ROM)としてのみ利用する。

【0015】3次元光学的記憶装置に書き込まれたデータを読みだすには、反射型の共焦点光学系を用いる。反射型の共焦点光学系は、面内には回折限界で決まる分解能をもち、奥行き方向(光軸方向)にも高い分解能を持つ。

【0016】本発明の読み出し光学系では、検出器に点検出器を用い、光源と点検出器とともに対物レンズの結像(焦点)位置に設け、反射型の共焦点光学系を構成する。点光源から射出した光を、対物レンズによって焦点面上におかれた記録材料上に集光する。材料内の屈折率変化が生じている領域で反射された光は、再び対物レンズを通り、検出器上に点像を結ぶ。点光源と点検出器

が共に対物レンズの焦点位置に配置されているので、記録材料内に3次元的に記録されたデータのうち、対物レンズの焦点位置に存在する屈折率変化で反射した光は点検出器に達する。しかし、光源と検出器の焦点位置から外れた位置に存在する屈折率変化の生じている領域で反射した光は、検出器位置に結像せず、そこでは円形状にぼけた強度分布を与える。点検出器はこのぼけた点像の一点の光量しか検出しないので、焦点面から外れた位置にある屈折率変化の像のコントラストは非常に低くなる。つまり、ディフォーカス像はぼけるのではなく、消える。したがって、反射型の共焦点光学系を用いれば、材料内に3次元的に記録されたデータ(屈折率変化)を他のデータからの干渉なしに読みだすことができる。別のデータを読みだすには、記録材料、あるいはレーザービームを相対的に走査する。

【0017】共焦点光学系のデータ読み出しでは、空間分解を持たない点検出器を用いる。そのため、焦点位置近くの記録材料の構造やダストに依存するリング上の干渉縞、材料面の不均質さまたはレンズなどの光学部品に付着しているほこりにより生じるスペックルパターンなど、空間コヒーレンスの高い光源を用いた時に問題となるコヒーレント雑音が全て除去される。つまり、コヒーレント雑音の影響を受けることなく、SN比の高いデータの読み出しができる。

【0018】

【実施例】本発明のデータ書き込みの実施例を第1図に示す。この光学系は、レーザー1、対物レンズ3、データを記録するための感光材料5、3軸方向に移動可能なステージ4、およびシャッター13で構成される。

【0019】光源にはレーザー1を用いる。レーザー1からの光を対物レンズ3によって記録材料5中に集光する。実施例では、感光材料5として、フォトリフラクティブ結晶を用いる場合を考える。ここでは、フォトリフラクティブ結晶としてLiNbO3結晶5を用いる。LiNbO3結晶5では、フォトリフラクティブ効果によって、光の強度分布の微分値に比例して結晶内の屈折率が変化する。よって、LiNbO3結晶5に収束光を入射すると、光軸上の光強度は焦点位置からの距離の2分の1乗に比例するので、結晶の屈折率変化は距離の3分の1乗に比例する。つまり、屈折率変化はレーザーの集光点付近のみで生じる。この屈折率変化によってデータを結晶内に記録することができる。LiNbO3結晶5を、3軸方向に移動可能なステージ4に上にのせ、3次元走査を行ないながら、一点一点データを記録する。二値データ(0または1)を記録するには、シャッター13を開閉して、LiNbO3結晶5に照射するレーザー光を制御し、結晶内での屈折率変化の有無によってデータを記録する。レーザー光の制御には、本実施例で用いた機械的な駆動によるシャッター13以外にも、液晶や電気光学効果を利用したシャッターなども用いることができる。感光材料5として、

フォトポリマー、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなどを用いた場合もフォトリフラクティブ結晶と同様にデータの記録を行なう。

【0020】第2図にデータの書き込みの他の実施例を示す。本実施例では、ビーム走査により、高速にデータの記録を行なう。この光学系は、レーザー光源1、ポリゴンミラー8、ガルバノミラー9、対物レンズ3、LiNbO₃結晶5、z軸方向に走査可能なステージ10、複数のリレーレンズ11、シャッター13によって構成される。レーザー1の集光スポットは、ポリゴンミラー8とガルバノミラー9とによって、焦点面内(x-y面内)を走査される。本走査は、ガルバノミラー9とポリゴンミラー8を対物レンズ3の瞳面に配置し、両ミラー8、9によってビームを振ることにより行なう。光軸方向の走査は、z軸方向に移動可能なステージ10上にLiNbO₃結晶5をのせ、このステージ10を走査して行なう。ポリゴンミラー8とガルバノミラー9によってビーム走査を行なうことにより、データの記録が高速に実現できる。ビームの走査は、ガルバノミラーとガルバノミラーとの組み合わせや、二つのポリゴンミラーを用いる方法、ガルバノミラーもしくはポリゴンミラーと音響光学素子を組み合わせる方法など、いずれの方法を用いてもよい。

【0021】第3図に、本発明の読み出し光学系の実施例を示す。この光学系は、レーザー2、ビームスプリッター6、対物レンズ3、データの記録されたLiNbO₃結晶5、点検出器7、3次元走査可能なステージ5によって構成される。この光学系は、反射型の共焦点顕微鏡と同等のものであり、光検出には点検出器を用いるかもしくはピンホールを配置してその後ろ側でピンホールを通過した光を面検出器によって検出するものを用いる。光源(レーザー)2と検出器7は共に、対物レンズ3の焦点位置に配置する。

【0022】読み出し用の光源には、記録データを破壊しないように、LiNbO₃結晶5のフォトリフラクティブ効果が生じない波長のレーザーを用いる。もし、データの書き込みと同波長のレーザーを用いる場合には、記録データを破壊しないように、レーザー光強度を十分小さくする。フォトポリマー、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなど記録材料では、書き込み後定着処理を行なうので、読み出し時には再感光が起こらない。そのため、読み出し時に書き込み時と同一波長のレーザーを用いても問題は生じない。

【0023】レーザー2からの光を屈折率変化が生じている部分に集光し、そこからの反射光を点検出器7で検出する。光源2と点検出器7が対物レンズ3の焦点位置に配置されているので、結晶5内に書き込まれたデータのうち対物レンズ3の焦点位置に存在する屈折率変化から反射した光のみが点検出器7に達する。焦点位置から外れた屈折率変化が生じている領域で反射した光は、検

出器7の位置に結像せず、検出されない。したがって3次元的に記録されたある一点のデータ(屈折率変化)を他のデータとの相互干渉することなしに読みだすことができる。

【0024】第4図に本発明のデータ読み出しの他の実施例を示す。本実施例では、ビーム走査により、高速にデータの読み出しを行なう。この光学系は、レーザー2、ポリゴンミラー8、ガルバノミラー9、対物レンズ3、データの記録されたLiNbO₃結晶5、z軸方向に移動可能なステージ10、ビームスプリッター6、点検出器7、多数のリレーレンズ11、結像レンズ12によって構成される。前記第2図の実施例と同様に、レーザーの集光点の焦点面内(x-y面内)の走査は、ポリゴンミラー8とガルバノミラー9により行ない、光軸方向の走査は、z軸方向に走査可能なステージ10上にLiNbO₃結晶5をのせて、ステージを走査して行なう。ビーム走査を行なうことにより、高速にデータの読み出しを行なうことができる。ビームの走査は、ガルバノミラーとガルバノミラーとの組み合わせや、二つのポリゴンミラーを用いる方法、ガルバノミラーもしくはポリゴンミラーと音響光学素子を組み合わせる方法など、いずれの方法を用いてもよい。

【0025】

【発明の効果】3次元的にデータを書き込み・読み出しのできる光学的記憶装置を実現することによって、大容量のメモリーを実現することができる。また、ビームを走査することにより高速のデータ書き込み・読み出しを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明におけるデータ書き込みの実施例を示す説明図である。

【図2】共焦点光学系を用いた本発明におけるデータ書き込みの他の実施例を示す説明図である。

【図3】本発明におけるデータ読み出しの実施例を示す説明図である。

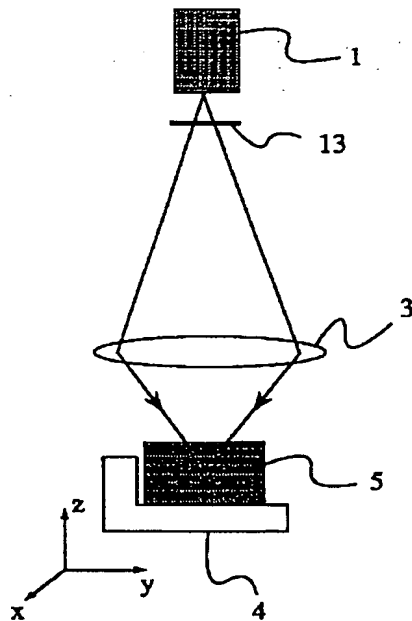
【図4】共焦点光学系を用いた本発明におけるデータ読み出しの他の実施例を示す説明図である。

【符号の説明】

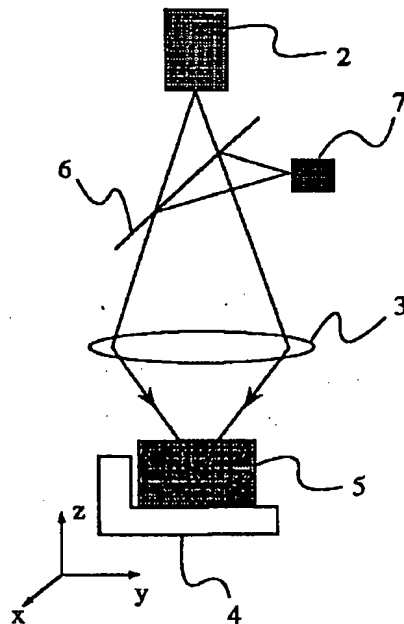
- 1 書き込み用レーザー
- 2 読み出し用レーザー
- 3 対物レンズ
- 4 3軸ステージ
- 5 感光材料
- 6 ビームスプリッター
- 7 点検出器
- 8 ポリゴンミラー
- 9 ガルバノミラー
- 10 z軸ステージ
- 11 リレーレンズ
- 12 結像レンズ

13 シャッター

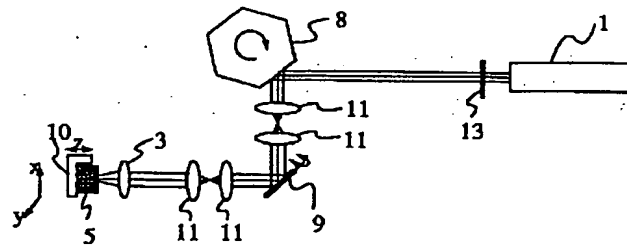
【図1】



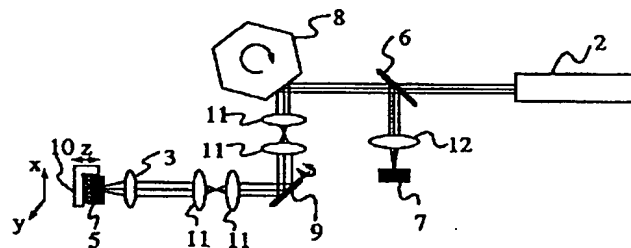
【図3】



【図2】



【図4】



【手続補正書】

【提出日】平成5年8月29日

【手続補正2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正内容】

【書類名】明細書

【発明の名称】光学的データ記憶体並びにこの記録装置及び記録再生装置

【特許請求の範囲】

【請求項1】 光強度に対し大きな非線形性を示す感光材料の体積中に、比較的低出力のレーザーにより、記録すべき2値データに対応する離散的な屈折率変化の分布を層状に形成したことを特徴とする光学的データ記憶体。

【請求項2】 前記感光材料は、一様な光を照射することにより前記屈折率変化の分布を消失するフォトリフラクティブ結晶である請求項1記載の光学的データ記憶体。

【請求項3】 前記フォトリフラクティブ結晶は LiNbO_3 を主成分とするものである請求項2記載の光学的データ記憶体。

【請求項4】 光源としてのレーザと、前記レーザからの光を集光する集光レンズと、入射光強度によって屈折率変化を生じる所定厚さの感光材料の体積中に前記集光レンズの集光点が位置するように配備される感光材料の載置台と、前記感光材料の体積中を前記集光点により3次元に走査可能にする感光材料の走査手段と、前記感光材料中の任意の微小領域における集光点の有無を、記録すべき2値データに応じて切り換える切換手段とを備えたことを特徴とする光学的データ記憶体の記録装置。

【請求項5】 前記感光材料の走査手段には、前記感光材料の載置台を前記集光レンズの光軸方向に微動する位置決め機構手段を含む、請求項4記載の光学的データ記憶体の記録装置。

【請求項6】 光源としてのレーザと、前記レーザからの光を集光する集光レンズと、入射光強度によって屈折率変化を生じる所定厚さの感光材料の体積中に前記集光レンズの集光点が位置するように配備される感光材料の載置台と、前記感光材料の体積中を前記集光点により3次元に走査可能にする感光材料の走査手段と、前記感光材料中の任意の微小領域における集光点の有無を、記録すべき2値データに応じて切り換える切換手段と、前記感光材料中に記録された屈折率変化の分布を検出するために用いられるデータ再生用のレーザと、このレーザ照射光の反射光を受ける対物レンズと、前記対物レンズの実質的な結像位置に設けられる点状をなす光電検出器とを備えたことを特徴とする光学的データ記憶体の記録再生装置。

【請求項7】 前記データ再生用のレーザは前記光源としてのレーザと兼用されると共に、前記対物レンズは前記集光レンズと兼用されて、前記レーザの点状をなす光源部、前記集光レンズ、及び前記点状光電検出器が反射型の共焦点光学系を形成する請求項6記載の光学的データ記憶体の記録再生装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光学的データ記憶体並びに光学的データ記憶媒体の記録装置及び光学的記録体の記録再生装置に関し、光強度に対して非線形性をもって感光する感光材料の体積中にデータを一点一点3次元に記録しこれを読み出しデータを再生できる光学的データ記録体並びにこれの記録及び／又は再生装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術、およびその問題点】近年のコンピュータの高機能化や情報の多次元化に伴い、大容量のメモリーが必要となってきた。この需要に応えるため、大きな容量をもつメモリーの開発が進められている。コンパクトディスク、光磁気ディスクなどの光学的記憶装置で、大容量のメモリーが実現されているが、これらの光学的記憶装置ではこれ以上の記録容量を大きくすることは困難である。つまり、データの書き込みと読み出しに光を使うかぎり、単位面積あたりの記録密度は使用する波長の回折限界で決まるスポット径で制限される。したがって、より大きな容量の光学的記憶装置を実現するには、記録媒体（ディスク）の面積を大きくしなければならないからである。

【0003】光学的記憶装置の記録媒体（ディスク）の面積を大きくすることなく、より大きな記録容量を実現するには、データを2次元平面内だけでなく、奥行き方向（光軸方向）にも記録し、3次元構造を持つ光学的記憶装置を実現すればよい。

【0004】3次元光学的記憶装置としてホログラフイー技術を応用したものが、いくつか提案されている(L. d'Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz: Appl. Opt. Vol. 13, 808-818, 1974; P. J. van Heerden: Appl. Opt. Vol. 2, 393-400, 1963; Di Chen and J. D. Zook: Proc. IEEE Vol. 63, 1207-1230, 1975)。これらの方法は、2次元データ（画像）を厚みのある感光材料に、ホログラムとして記録するものである。多数枚の2次元データを参照光の照明方向を変えて、同一ホログラム材料に多重記録する。

【0005】ホログラフイーを用いてデータを記録する方法では、以下のような問題点がある。多重記録した複数の2次元データのうち、クロストークなしで1枚ずつ2次元データを読みだすためには、多重記録する際に参照光の照明方向を大きく変化させて記録しなければならない(L. d'Auria, J. P. Huignard, C. Slezak, and E. Spitz: Appl. Opt. Vol. 13, 808-818, 1974)。そのため、多重記録の多重度を高くすることはできず、記録容量を大きくすることはできない。また、ホログラフイーの記録と再生には、コヒーレント光源が必要である。そのためホログラムからの再生像には、光学部品に付着したほこりなどに起因するスペックル像およびリング状の干渉縞などのコヒーレント雑音が重畳する。これらコヒ

ーレント雑音は、再生データ像のSN比を低下させ、データ読み出しの信頼性を著しく低下させる。

【0006】記録媒体に一点ずつデータを書き込む3次元光学的記憶装置もいくつか提案されている(D. A. Parthenopoulos and P. M. Rentzepis: Science Vol. 245, 843-844, 1989; S. Hunteer, F. Kiamilev, S. Esener, D. A. Parthenopoulos, and P. M. Rentzepis: Appl. Opt. Vol. 29, 2058-2066, 1990; J. H. Strickler and W. W. Webb: Opt. Lett. Vol. 16, 1780-1782, 1991)。

【0007】これらは、二光子吸収が光強度の2乗に比例して生じることを利用して、フォトポリマー中にデータを書き込むものである。まず、フォトポリマーにレーザー光を集光する。二光子吸収は光強度の2乗に比例して生じるので、レーザー光強度の大きな焦点付近でのみ二光子吸収が生じ、ポリマーの結合状態が変化する。よって、レーザーの集光点付近のみでポリマーの構造が変化し、その点で屈折率が変化する。ポリマーを3次元的に走査して、データを3次元的に一点ずつ記録する。データの読み出しには、微分干渉顕微鏡を用いている。各点での屈折率変化を検出し、データを読み出す。

【0008】二光子吸収を用いた光学的記憶装置では、データの書き込み時に高出力のパルスレーザーが必要である。またデータの読み出しには微分干渉顕微鏡を用いているため、光軸方向(奥行き方向)のデータの読み出し分解能は顕微鏡の焦点深度によって決まる。通常の顕微鏡の焦点深度は大きく、光軸方向のデータの読み出し分解能は低い。また、焦点位置にある屈折率変化のデータに焦点位置から外れた位置に存在する屈折率変化のぼけた像が重なるので、データの読み出し精度は低下する。したがって、光軸方向の記録密度を上げることは困難であり、容量を大きくすることも困難である。なお、上記の二光子吸収(two-photon absorption)とは、ある特定の物質が2個の光子を同時に吸収する現象をいい、この現象においては、2個の光子は同一の周波数の場合も異なる周波数の場合もあって、後者では波長の異なる例えばレーザービームをそれぞれ用いて感光材料中の任意の微小領域で両ビームの集光点を交差させて屈折率変化を記録することができるが、前者は、特定波長の単一のレーザービームを用いてその集光点の光強度に感応する非線形性を利用して屈折率変化を記録するものである。この前者の二光子吸収の原理を利用した3次元的数据の記録手法には、上記で言及した問題点のほか以下の問題も指摘される。すなわち、①データの書き込みには、極めて高出力のパルスレーザーが必要とされ、例えば、上掲のJ. H. Stricker and W. W. Webbの論文においては、大型のアルゴンイオンレーザー装置とこのレーザーからのビームをパルス化するColliding-Pulse Mode-locked Dye Laserという大型の装置が使用されている。しかしながら、このような高出力パルスレーザーは、実

証試験や研究のために、研究室や実験室レベルでは装備可能であるが、民生レベルの実用化のためにはコストがかかり過ぎ、さらには極めて大型化した装置システムの形態をとらざるを得ず、問題が多い。つまり、現在普及している書き換え可能型の光磁気ディスク装置などのように、小型コンパクト化されなおかつ比較的成本低廉で提供され民生用に広く普及するには難点が多いということである。次に、②二光子吸収の性質を示現する物質、感光材料は、その種類がきわめて限定され、現状ではある特定のフォトポリマーだけが利用可能であるという、二光子吸収を示す感光材料そのものに係る問題である。現状では、単一のレーザービームを使用する場合、高エネルギーを集中化することによってのみ屈折率変化を記録でき、低エネルギーのレーザーで記録できる、あるいは特有の波長依存性を呈して低エネルギーで記録できるような感光材料は見いだされていない。また、③現在用いられている感光材料はフォトポリマーであって、その常温での性状は液体であり、記録時やデータの再生において、あるいは記録体の長期保存という見地から難点が認められる。すなわち、記録時には、例えば紫外線を用いてある程度のゲル化が必須であり、記録した後も収縮や変形を防止するために特別の処理を施さざるを得ないという問題である。3次元的にデータを記憶させたとはいっても、データ担体そのものが収縮や変形によって、データアクセスが不可能化する可能性があるとするれば、そのようなデータ担体は、たとえきわめて大容量のものとしても、利用・適用の可能性は乏しく例えば民生用にコンパクトディスクのように広く普及するなどということは考え難い。更に、④二光子吸収の原理を用いた屈折率変化の形成は固定したものであり、たとえ大容量化が図られたとしても、それはROMとしての利用に限られてしまい、書き換えの可能性を全く挫くという難点がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】そこで、本発明は、特殊な装置の利用や特別な処理を施すことなくデータの記録が容易で高記録密度、大容量の記憶が可能な光学的データ記憶体並びにこの記録装置及び記録再生装置を提供することを基本的な目的とし、その他に、書き換え可能な大容量光学的データ記憶体を提供することも目的の一つとする。

【0010】

【課題を達成するための手段、発明の構成】本発明に係る光学的データ記憶体は、光強度に対し大きな非線形性を示す感光材料の体積中に、比較的低出力のレーザーにより、記録すべき2値データに対応する離散的な屈折率変化の分布を層状に形成したデータ記憶体であることを基本的な特徴とする。また、上記のデータ記憶体を得るためにこの記録媒体にデータを記録する本発明に係る記録装置は、光源としてのレーザと、前記レーザからの光

を集光する集光レンズと、入射光強度によって屈折率変化を生じる所定厚さの感光材料の体積中に前記集光レンズの集光点が位置するように配備される感光材料の載置台と、前記感光材料の体積中を前記集光点により3次元に走査可能にする感光材料の走査手段と、前記感光材料中の任意の微小領域における集光点の有無を記録すべき2値データに応じて切り換える切換手段とを備えたことを基本的な特徴とする。そして、上記データ記憶体の本発明に係る記録再生装置は、光源としてのレーザと、前記レーザからの光を集光する集光レンズと、入射光強度によって屈折率変化を生じる所定厚さの感光材料の体積中に前記集光レンズの集光点が位置するように配備される感光材料の載置台と、前記感光材料の体積中を前記集光点により3次元に走査可能にする感光材料の走査手段と、前記感光材料中の任意の微小領域における集光点の有無を記録すべき2値データに応じて切り換える切換手段とを備えたことを特徴とする。光源としてのレーザと、前記レーザからの光を集光する集光レンズと、入射光強度によって屈折率変化を生じる所定厚さの感光材料の体積中に前記集光レンズの集光点が位置するように配備される感光材料の載置台と、前記感光材料の体積中を前記集光点により3次元に走査可能にする感光材料の走査手段と、前記感光材料中の任意の微小領域における集光点の有無を記録すべき2値データに応じて切り換える切換手段と、前記感光材料中に記録された屈折率変化の分布を検出するために用いられるデータ再生用のレーザと、このレーザ照射光の反射光を受ける対物レンズと、前記対物レンズの実質的な焦点位置に設けられる点状の光電検出器とを備えたことを基本的な特徴としている。

【0011】

【作用】本発明では、厚みのある光強度に対し大きな非線形性を示す記録材料に比較的低出力のレーザにより3次元的にデータを屈折率変化として一点一点記録する。そして、記録されたデータを再生するときは、屈折率変化の有無を反射光の有無をもってこれを反射型の共焦点光学系を用いて読み出す。

【0012】データの記録材料には、フォトリフラクティブ結晶、フォトポリマー、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなど、光強度に応じて屈折率が変化する感光材料を用いる。このような記録材料中にレーザ光を集光すると、集光位置で屈折率が大きく変化する。集光点以外の部分では、集光位置に比べ光強度が小さいので、屈折率変化は小さく、無視できる。レーザビームを走査するかまたは記録材料を3次元的に走査して、一点一点記録材料中にデータを3次元的に記録する。

【0013】本発明の光学的記録手法では、例えば出力が数mW〜数十mWで波長が500 nmのレーザ光を用いてデータの書き込みを行ない、屈折率変化が集光スポットの周辺 $1\mu\text{m}^3$ の範囲で生じたとすると、 1×10^{12} bit/cm³の記録密度が得られる。より短い波長のレーザ光を

用いることや高い開口数の対物レンズを使用すること、レーザ光強度に対してより大きく非線形に感光する記録材料を用いて屈折率変化が生じる領域を小さくすることなどにより、さらに高い記録密度が得られる。

【0014】記録材料として LiNbO_3 、 BaTiO_3 、SBN、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ などの様な光を照射することにより先に記録した屈折率変化が消失するフォトリフラクティブ結晶を用いた場合には、データの書き換え可能でランダムアクセスメモリ(RAM)およびリードオンリーメモリ(ROM)としての作用を持たせることができる。フォトポリマー、重クロム酸ゼラチンなど、書き換えができない材料を記録材料に用いた場合には、リードオンリーメモリ(ROM)としてのみ利用できる。なお、フォトリフラクティブ結晶を用いるときは、この結晶はすべからず固体であるから記録時等、取り扱いがきわめて容易で利便である。また、比較的低出力のレーザ例えば、出力が50 mW以下の半導体レーザでも記録可能であるので、記録しないし記録再生装置の小型、コンパクト化が充分可能である。

【0015】3次元光学的記憶体に書き込まれたデータを読みだすには、反射型の共焦点光学系を用いる。反射型の共焦点光学系は、面内には回折限界で決まる分解能をもち、奥行き方向(光軸方向)にも高い分解能を持つ。

【0016】本発明の上記読み出し光学系では、検出器に点状をなす検出器を用い、光源と点検出器とともに前記対物レンズの実質的な結像(焦点)位置に設け、反射型の共焦点光学系を構成する。点光源から射出した光を、対物レンズによって焦点面上におかれた記録材料中に集光する。材料内の屈折率変化が生じている領域で反射された光は、再び対物レンズを通り、検出器上に点像を結ぶ。点光源と点検出器が共に対物レンズの焦点位置に配置されているので、記録材料内に3次元的に記録されたデータのうち、対物レンズの焦点位置に存在する屈折率変化で反射した光は点検出器に達する。しかし、光源と検出器の焦点位置から外れた位置に存在する屈折率変化の生じている領域で反射した光は、検出器位置に結像せず、そこでは円形状にぼけた強度分布を与える。点検出器はこのぼけた点像の一点の光量しか検出しないので、焦点面から外れた位置にある屈折率変化の像のコントラストは非常に低くなる。つまり、ディフォーカス像はぼけるのではなく、消える。したがって、反射型の共焦点光学系を用いることにより、材料内に3次元的に記録されたデータ(屈折率変化)を他のデータからの干渉なしに読みだすことができる。別のデータを読みだすには、記録材料、あるいはレーザビームを相対的に走査する。

【0017】共焦点光学系のデータ読み出しでは、空間分解を持たない点状をなす検出器を用いる。そのため、焦点位置近くの記録材料の構造やダストに依存するリン

グ上の干渉縞、材料面の不均質さまたはレンズなどの光学部品に付着しているほりにより生じるスペックルパターンなど、空間コヒーレンスの高い光源を用いた時に問題となるコヒーレント雑音は全て除去される。つまり、コヒーレント雑音の影響を受けることなく、SN比の高いデータの読み出しができる。なお、前述の二光子吸収を用いたフォトリソ材料における記録により生じる屈折率変化は $10^{-3} \sim 10^{-1}$ で、例えば本発明で用いられる一般的なフォトリソ材料結晶での屈折率変化は $10^{-5} \sim 10^{-3}$ でほぼ100倍の差があるが、読み出し光学系に共焦点光学系を用いることによりこの差は十分に補償される。

【0018】

【実施例】本発明のデータ書き込みの実施例を第1図に示す。この光学系は、レーザー1、対物レンズ3、データを記録するための感光材料5、3軸方向に移動可能なステージ4、およびシャッター13で構成される。なお、参照符号1で示したレーザーには内部にビームエクステンダー及びコリメートレンズを含み点状の光源として作用する。

【0019】光源にはレーザー1を用いる。レーザー1からの光を対物レンズ3によって記録材料5中に集光する。実施例では、感光材料5として、フォトリソ材料結晶を用いる場合を考える。ここでは、フォトリソ材料結晶として LiNbO_3 結晶5を用いる。 LiNbO_3 結晶5では、フォトリソ材料効果によって、光の強度分布の微分値に比例して結晶内の屈折率が変化する。よって、 LiNbO_3 結晶5に収束光を入射すると、光軸上の光強度は焦点位置からの距離の2分の1乗に比例するので、結晶の屈折率変化は距離の3分の1乗に比例する。つまり、屈折率変化はレーザーの集光点付近のみで生じる。この屈折率変化によってデータを結晶内に記録することができる。 LiNbO_3 結晶5を、3軸方向に移動可能なステージ4の上にのせ、3次元走査を行ないながら、一点一点データを記録する。二値データ(0または1)を記録するには、シャッター13を開閉して、 LiNbO_3 結晶5に照射するレーザー光を制御し、結晶内での屈折率変化の有無によってデータを記録する。レーザー光の制御には、本実施例で用いた機械的な駆動によるシャッター13以外にも、液晶や電気光学効果を利用したシャッターなども用いることができる。感光材料5として、フォトリソ材料、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなどを用いた場合もフォトリソ材料結晶と同様にデータの記録を行なう。なお、上記にいうフォトリソ材料効果については、1960年代後半にAshkinらにより特定の結晶による第2高調波の発生や光変調の研究の副産物として発見され、当初は光損傷と命名された。このフォトリソ材料効果による屈折率変化は、数mWの低出力のレーザー光で惹起させることができ、また、反応速度が数msecから数secであるこ

とから反応はリアルタイムで進行し、強度パターンが変化するとその屈折率分布も変化する性質をもつことが知られている。これらの性質を利用して、従来より、実時間ホログラムやホログラフィック光メモリとしての応用や、位相共役鏡としての応用が盛んに研究されている。しかしながら、上記実施例のように、フォトリソ材料効果を用いてこの結晶に一点一点収束光を入射してビット形式の記録を行う試みは寡聞にしてない。フォトリソ材料結晶には、 LiNbO_3 ($\lambda=633\text{nm}$)、 LiTaO_3 ($\lambda=488\text{nm}$)、 KNbO_3 ($\lambda=488\text{nm}$)、 BaTiO_3 ($\lambda=546\text{nm}$)、 $\text{Ba}_{0.75}\text{Sr}_{0.25}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ($\lambda=488\text{nm}$)、 $\text{Ba}_{0.39}\text{Sr}_{0.41}\text{Nb}_2\text{O}_6$ ($\lambda=620\text{nm}$)、 $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$ ($\lambda=510\text{nm}$)、 $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$ ($\lambda=488\text{nm}$)、 GaAs ($\lambda=488\text{nm}$)、 CdTe ($\lambda=488\text{nm}$)がよく知られているが(尚、括弧内は感度の中心波長を示す)、フォトリソ材料効果による屈折率変化の大きさは、総じておよそ $10^{-5} \sim 10^{-3}$ である。フォトリソ材料結晶は、電気光学結晶であり屈折率変化の大きさは電気光学定数及び内部に形成される電界の大きさに比例する。電気光学定数は結晶の種類、結晶構造に依存し、内部電界の大きさは、結晶内に含まれる不純物の濃度に依存する。大きな屈折率変化を有する結晶として BaTiO_3 、 SBN 、 LiNbO_3 が知られている。これらの結晶の屈折率変化の大きさは 10^{-3} 程度であり、透過型体積ホログラムとして用いたときの回折効率は80%に達する。 BaTiO_3 及び SBN 結晶は、電気光学定数が非常に大きいために屈折率変化が大きくなるのに対し、 LiNbO_3 結晶は電気光学定数は小さいが、光起電力効果が大きく、内部電界を大きくすることができるので、屈折率が大きくなる。また、 SBN 結晶や LiNbO_3 は不純物をドーピングすると屈折率変化を大きくすることができ、 SBN 結晶にはCeを LiNbO_3 結晶には、Fe, Mn, Rhをドーピングすると屈折率変化が大きくなることが知られている。また、上記したフォトリソ材料、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムは、記録された屈折率変化は固定されてしまい書き換えることができないが、フォトリソ材料結晶で記録したデータは、前回の記録パターンとは異なる強度分布をもつ光あるいは一様な自然光を照射することで容易に書き換えることができる。すなわち、フォトリソ材料、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムは、ROM(Read Only Memory)としてのみ用いることができる一方、フォトリソ材料結晶はRAM(Read/Write memory)として用いることができる。更に、フォトリソ材料と、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムとを比較すると、後者は低ノイズで高回折効率という特徴をもつが、現像に手間がかかることや記録材料の安定性が悪いということがあり、一般的に取り扱いが難しいということとは否めない。他方、前者のフォトリソ材料は、自己現像型で、露光後、自然光を一様に照射するだけで、記録した屈折率変化の分布を簡単に固定するこ

とができるという利点をもつ。

【0020】第2図にデータの書き込みの他の実施例を示す。本実施例では、ビーム走査により、高速にデータの記録を行なう。この光学系は、レーザー光源1、ポリゴンミラー8、ガルバノミラー9、対物レンズ3、 LiNbO_3 結晶5、z軸方向に走査可能なステージ10、複数のリレーレンズ11、シャッター13によって構成される。レーザー1の集光スポットは、ポリゴンミラー8とガルバノミラー9とによって、焦点面内(x-y面内)を走査される。本走査は、ガルバノミラー9とポリゴンミラー8を対物レンズ3の瞳面に配置し、両ミラー8, 9によってビームを振ることにより行なう。光軸方向の走査は、z軸方向に移動可能なステージ10上に LiNbO_3 結晶5をのせ、このステージ10を走査して行なう。ポリゴンミラー8とガルバノミラー9によってビーム走査を行なうことにより、データの記録が高速に実現できる。ビームの走査は、ガルバノミラーとガルバノミラーとの組み合わせや、二つのポリゴンミラーを用いる方法、ガルバノミラーもしくはポリゴンミラーと音響光学素子を組み合わせる方法など、いずれの方法を用いてもよい。なお、上記実施例では、フォトリフラクティブ結晶として LiNbO_3 結晶を用いている。これは、この結晶がデータ記録及びデータ読出しの双方で他の結晶よりも有利であるという特性に基づいている。すなわち、フォトリフラクティブ結晶における屈折率変化の大きさはおよそ $10^{-5} \sim 10^{-3}$ 程度と小さい。この範囲の屈折率変化では、再生するとき上の層に記録されたデータにより光の波面が大きく乱されることはないが、屈折率を変化したところで光を反射させて再生するためには、その屈折率変化は大きい方が反射率が高い。そのため、屈折率変化の大きい材料を選択する必要があり、一般に高い屈折率変化を示す結晶として BaTiO_3 、 LiNbO_3 及びSNB結晶が知られている。そこで、 BaTiO_3 、 LiNbO_3 及びSNB結晶についてメモリとしてもちいるのに好適な書き込み光と読み出し光の光軸に対する最適な結晶軸の方向と読み出し光の偏光方向とを検討した。 BaTiO_3 、SNB、 LiNbO_3 結晶は異方性結晶であり、光が結晶に入射すると常光線と異常光線とに分かれる。それぞれの偏光方向に対する屈折率だ円体の変形の大きさを求めてみると、異常光線の方が常光線より著しく大きいことが分かった。したがって、データの記録された屈折率変化の生じた微小領域からの反射光を大きくするには、読み出し光の偏光方向を異常光線の偏光方向と一致させるのがよい。偏光方向をこのように決定すると、屈折率変化の大きさは、書き込み光及び読み出し光の光軸が結晶軸となす角度だけで表わすことができる。 BaTiO_3 、SNB、 LiNbO_3 のそれぞれの結晶について、書き込み光及び読み出し光の光軸と結晶軸とのなす角度 θ を変化させたとき、異常光線に対する結晶内の屈折率変化を調べてみると、 BaTiO_3 、SNB結晶では、書き込み

光及び読み出し光の光軸に対して結晶軸のが約60度または125度のときに、最も大きな屈折率変化が生じることが解った。従って、メモリに BaTiO_3 とSNB結晶を用いる場合には、光の入射面の法線方向に対して、結晶軸が60度または125度傾いているものがよい。しかしながら、結晶のドメインの向きを制御した状態で、結晶軸に対して結晶を斜めに切り出すような加工は、困難である。また、通常よく用いられる結晶の角度である0度(光の入射面の法線方向に対して結晶軸が平行)及び90度(入射面の法線方向に対して結晶軸が垂直)では、屈折率分布はほとんど生じないことも判明している。そのため、これらの結晶は、メモリの記録体としては一応不適当であるとの結果を得ている。他方、 LiNbO_3 結晶では、書き込み光および読み出し光の光軸にたいして結晶軸が、0度、60度、120度、180度のときに大きな屈折率変化が生じる。光軸に対して、結晶軸のなす角度が0度と180度にするには、z軸カットの LiNbO_3 結晶を用いればよい。また、 LiNbO_3 結晶の場合には、比較的容易に結晶軸に対して斜めに結晶を切り出すことができるので、60度と120度の場合のものも簡単に実現することができる。これらの解析結果に基づいてフォトリフラクティブ結晶を用いた3次元光メモリ記録体には LiNbO_3 結晶を用いるのが最適である。

【0021】第3図に、本発明の読み出し光学系の実施例を示す。この光学系は、レーザー2、ビームスプリッター6、対物レンズ3、データの記録された LiNbO_3 結晶5、点検出器7、3次元走査可能なステージ5によって構成される。この光学系は、反射型の共焦点顕微鏡と同等のものであり、光検出には点検出器を用いるかもしくはピンホールを配置してその後ろ側でピンホールを通過した光を面検出器によって検出するものを用いる。光源(レーザー)2と検出器7は共に、対物レンズ3の焦点位置に配置する。なお、共焦点光学系については、中村収・河田聡・南茂夫著「コンフォーカル・レーザー走査顕微鏡の三次元結像特性」と題する「応用物理」誌、Vol. 57, No. 5(1988), pp. 128-135. に詳しい。

【0022】読み出し用の光源には、記録データを破壊しないように、 LiNbO_3 結晶5のフォトリフラクティブ効果が生じない波長のレーザーを用いる。もし、データの書き込みと同波長のレーザーを用いる場合には、記録データを破壊しないように、レーザー光強度を十分小さくする。フォトポリマー、重クロム酸ゼラチン、銀塩フィルムなど記録材料では、書き込み後定着処理を行なうので、読み出し時には再感光が起こらない。そのため、読み出し時に書き込み時と同一波長のレーザーを用いても問題は生じない。

【0023】レーザー2からの光を屈折率変化が生じている部分に集光し、そこからの反射光を点検出器7で検出する。光源2と点検出器7が対物レンズ3の焦点位置に配置されているので、結晶5内に書き込まれたデータ

のうち対物レンズ3の焦点位置に存在する屈折率変化から反射した光のみが点検出器7に達する。焦点位置から外れた屈折率変化が生じている領域で反射した光は、検出器7の位置に結像せず、検出されない。したがって3次元的に記録されたある一点のデータ（屈折率変化）を他のデータとの相互干渉することなしに読みだすことができる。

【0024】第4図に本発明のデータ読み出しの他の実施例を示す。本実施例では、ビーム走査により、高速にデータの読み出しを行なう。この光学系は、レーザー2、ポリゴンミラー8、ガルバノミラー9、対物レンズ3、データの記録されたLiNbO₃結晶5、z軸方向に移動可能なステージ10、ビームスプリッター6、点検出器7、多数のリレーレンズ11、結像レンズ12によって構成される。前記第2図の実施例と同様に、レーザーの集光点の焦点面内（x-y面内）の走査は、ポリゴンミラー8とガルバノミラー9により行ない、光軸方向の走査は、z軸方向に走査可能なステージ10上にLiNbO₃結晶5をのせて、ステージを走査して行なう。ビーム走査を行なうことにより、高速にデータの読み出しを行なうことができる。ビームの走査は、ガルバノミラーとガルバノミラーとの組み合わせや、二つのポリゴンミラーを用いる方法、ガルバノミラーもしくはポリゴンミラーと音響光学素子を組み合わせる方法など、いずれの方法を用いてもよい。

【0025】

【発明の効果】3次元に2値データを書き込み・読み出しのできる光学的記憶装置を実現することによって、きわめて大容量のメモリーを現実化することができる。ま

た、高密度、大容量であるにもかかわらず、ビームを走査することにより高速のデータ書き込み・読み出しを実現することができる。さらに、半導体レーザーを用いることができるので、装置の小型・コンパクト化が達成できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明におけるデータ書き込みの実施例を示す説明図である。

【図2】共焦点光学系を用いた本発明におけるデータ書き込みの他の実施例を示す説明図である。

【図3】本発明におけるデータ読み出しの実施例を示す説明図である。

【図4】共焦点光学系を用いた本発明におけるデータ読み出しの他の実施例を示す説明図である。

【符号の説明】

- 1 書き込み用レーザー
- 2 読み出し用レーザー
- 3 対物レンズ
- 4 3軸ステージ
- 5 感光材料
- 6 ビームスプリッター
- 7 点検出器
- 8 ポリゴンミラー
- 9 ガルバノミラー
- 10 z軸ステージ
- 11 リレーレンズ
- 12 結像レンズ
- 13 シャッター